



***Beurteilung
pflugloser Bodenbearbeitungsver-
fahren auf Praxisflächen
- Ergebnisse zur Entwicklung des
Gefüges auf Thüringer
Dauerbeobachtungsflächen***

Besuchen Sie uns auch im Internet:
www.tll.de/ainfo

Impressum

1. Auflage 2009

Herausgeber: Thüringer Landesanstalt für Landwirtschaft
Naumburger Str. 98, 07743 Jena
Tel.: (03641) 683-0, Fax: (03641) 683 390
E-Mail: pressestelle@jena.tll.de

Autor: Dr. Rainer Paul

August 2009

- Nachdruck - auch auszugsweise - nur mit Quellenangabe gestattet. -

Inhaltsverzeichnis

1	Einführung	4
2	Material und Methoden	5
3	Ergebnisse	5
3.1	Entwicklung des Gefüges in der Krume	5
3.1.1	Trockenrohdichte	5
3.1.2	Luftkapazität	7
3.1.3	Gesättigte Wasserleitfähigkeit (kf-Wert)	8
3.1.4	Wasserrückhaltevermögen	10
3.1.5	Aggregatporosität	11
3.2	Entwicklung des Gefüges der Krumenbasis	12
3.2.1	Trockenrohdichte	12
3.2.2	Luftkapazität	13
3.2.3	Gesättigte Wasserdurchlässigkeit (kf-Wert)	14
3.3	Entwicklung des Gefüges im krumennahen Unterboden	15
3.3.1	Trockenrohdichte	15
3.3.2	Luftkapazität	16
3.3.3	Gesättigte Wasserleitfähigkeit (kf-Wert)	17
4	Erste Ergebnisse des Versuches Buttelstedt	18
5	Schlussfolgerung	18

1 Einführung

Das Gefüge eines Bodens erfüllt wichtige Aufgaben für das Pflanzenwachstum. Es ermöglicht den Wurzeln, sich im Boden zu verankern und auszubreiten, speichert Wasser und Nährstoffe und leitet es ihnen zu. Ebenfalls regelt es den Gasaustausch im Boden. Schädliche Gase werden zur Oberfläche transportiert, Sauerstoff gelangt zu den Wurzeln. Dazu soll es Kompressions- und Scherbeanspruchungen abstützen.

Entscheidend für die Versorgungsleistungen und die Ausbreitung der Wurzeln sind die Grobporen und deren Geometrie. Es müssen sowohl ausreichend Grobporen vorhanden sein als auch eine gut durchlässige Verbindung zum Unterboden bilden.

Die Grobporen sind jedoch die instabilsten Bestandteile des Gefüges. Die in den Boden eingetragenen Spannungen verändern, wenn sie die Stabilität des Bodens übersteigen, zuerst das Grobporensystem. Daran wirken zwei Prozesse, Kompression und Knetung. Die Kompression presst zunächst die weiten Grobporen zusammen. Die Kompressionsgefahr beginnt, wenn Bodenluft enthalten ist bzw. im Abtrocknungsprozess die Poren füllt. Sie besteht deshalb auch im trockenen Boden, bis die (im Abtrocknungsprozess zunehmende) Bodenstabilität größer als die Beanspruchungen durch die Spannungen ist. Ist der Boden mit Wasser gesättigt, kann der Boden erst komprimiert werden, wenn das Wasser aus den Poren ausgepresst ist. Dazu ist Zeit erforderlich. Sofort aber beginnt der Scherprozess. Die Poren werden zerknetet. Dabei wird der Boden nicht verdichtet, es verringert sich aber die Porenkontinuität und es verändert sich die Porengrößenverteilung zuungunsten der weiten Grobporen.

Die Wassersättigung tritt nach Niederschlägen, aber auch während der Kompression ein. Sie steigt dann mit dem Verlust luftgefüllter Poren an.

Die Bodenbearbeitung soll ein geschädigtes Gefüge wieder so aufbauen, dass es die Ansprüche der Pflanzen erfüllt. Für die Regenerierung der Krume werden unterschiedliche Verfahren angewendet, die wendende Bodenbearbeitung mit dem Pflug, überwiegend im Wechsel mit pflugloser Bodenbearbeitung und Verfahren ohne wendende Bodenbearbeitung. Es werden aber auch Verfahren empfohlen, die ganz auf Bodenbearbeitung (no-tillage-Verfahren) verzichten.

Von der pfluglosen Bodenbearbeitung sowie von den no-tillage-Verfahren erhofft man sich neben dem Erhalt bzw. der Verbesserung der Gefügefunktion durch natürliche Lockerung eine Stabilisierung des Gefüges gegenüber Druckbelastung. Es soll eine stabile Unterkrume aufgebaut werden, die ausreichend leitfähig ist und die Landtechnik ohne Schadverdichtungsrisiko für Krume und Unterboden abstützt.

Die Auswirkungen der unterschiedlichen Grundbodenbearbeitungsverfahren auf das Gefüge unter praxisüblichen Beanspruchungen können auf Dauerbeobachtungsflächen verfolgt werden. In Thüringen wurden solche Flächen - im Jahre 1992 beginnend - auf landwirtschaftlich genutzten Feldern eingerichtet. Sie befinden sich im Kernbereich der Feldstücke. Der Flächeninhalt beträgt 2 500 m².

Die pfluglose Bodenbearbeitung begann im Jahre 1994 auf einem Braunerde-Tschernosem (GO2) aus Löss der Bodenart Lu sowie einer Braunerde (GE1) der Bodenart SI3 bis LS3 und einem Pseudogley (GE2) der Bodenart Slu auf unterem Buntsandstein. Die Grundbodenbearbeitung wurde nur noch mit dem Grubber bis 15 cm tief durchgeführt. Der Braunerde-Tschernosem wurde ab 2006 wieder gepflügt.

Die Auswirkungen des periodischen Pflügens werden auf einer Vega (AG1) der Bodenart Ut4, einem Gley (AG2) der Bodenart Tu2, einem Tschernosem aus tonigem Keuper (GO1) der Bodenart Lt2, einem Pseudogley (WÖ1) der Bodenart Uls und einer Braunerde (WÖ2) der Bodenart Uls aus schluffiger Schieferverwitterung dargestellt (die Bodenartbezeichnung entspricht dem Bodenartendiagramm der Bodenar-

tenuntergruppen des Feinbodens aus der Bodenkundlichen Kartieranleitung 5. Auflage [2005]).

Zusätzlich zu den Bodendauerbeobachtungsflächen wird die Gefügeentwicklung auf einem Parzellenversuch auf einer Vega (WEIS) der Bodenart Lu mit jährlichem Pflugeinsatz im Vergleich zu flach lockernder Bodenbearbeitung mit dem Grubber beobachtet. Im Jahre 2008 begann außerdem ein 35 ha umfassender Versuch mit vier Bodenbearbeitungsvarianten auf einem seit 2005 pfluglos bearbeiteten Tschernosem (Bodenart Tu3). In diesem Versuch setzen zwei Varianten die Pfluglosbearbeitung mit unterschiedlichen Bearbeitungstiefen fort, auf einer Variante wird der Pflug bedarfsweise, auf einer jährlich eingesetzt.

2 Material und Methoden

Die Untersuchung der physikalischen Bodeneigenschaften erfolgt im Abstand von zwei Jahren am Rand der in Viertel aufgeteilten Testfläche, auf dem Parzellenversuch am Rand der Parzellen. Je Teilfläche der BDF wird ein Profil angelegt, auf den Versuchsflächen vier je Variante. Die Beprobung erfolgt mit Stechzylindern mit 250 cm³ Volumen mit vertikaler Entnahmerichtung. Dazu wird je Profil in der oberen Krume (Entnahmetiefe 4 ... 10 cm), der unteren Krume (Entnahmetiefe 15 ... 21 cm), der Krumenbasis (Entnahmetiefe 30 ... 36 cm) und dem krumennahen Unterboden (Entnahmetiefe 45 ... 51 cm) eine Ebene hergestellt. Die Zylinder werden zufällig auf der Schicht verteilt.

Die Weiterbehandlung der Proben erfolgt im Labor nach Methoden des VDLUFA-Methodenbuches Band 1. Bestimmt wird die Korngrößenzusammensetzung, der kf-Wert, die Porengrößenverteilung, die Trockenrohdichte, nach Hausmethoden die Feststoffdichte (Gaspyknometrie) und die Aggregatdichte (Volumenbestimmung durch Verdrängung).

Dargestellt werden daraus die Ergebnisse, welche die Transporteignung des Grobporensystems beschreiben, die Luftkapazität (der Anteil am Porenvolumen, den die Grobporen 50 µm einnehmen) und die Wasserdurchlässigkeit im wassergesättigten Boden (kf-Wert). Der kf-Wert steht im Zusammenhang zum Gasdiffusionskoeffizient, der den natürlichen Weg des Gastransportes im Boden beschreibt. Geprüft und als geeignet befunden wurde auch die Luftpermeabilität (PL-Wert).

Die Bewertung des Gefüges erfolgt nach der Transporteignung. In der Krume sollte die Luftkapazität mindestens 8 Vol.-% und der kf-Wert 10 cm d⁻¹ betragen, für den Unterboden gelten eine Luftkapazität von 5 Vol.-% bei ebenfalls 10 cm d⁻¹.

3 Ergebnisse

3.1 Entwicklung des Gefüges in der Krume

3.1.1 Trockenrohdichte

Bei pflugloser Bodenbearbeitung wird der nicht mehr bearbeitete Teil der Krume zunehmend dichter. Der Anstieg der Dichte ist bis vier Jahre nach der Lockerung relativ steil, dann wird er wesentlich flacher. Die Trockenrohdichte stieg in den ersten Jahren um 0,20 g cm⁻³ (B = 0,6, 0,7 und 0,5) an, der folgende Anstieg betrug nur noch von 0,04 g cm⁻³. Praktisch stellte sich ein Gleichgewicht zu den Belastungen (Konsolidierung) ein.

Auf dem Standort Weißensee begann die Gefügeuntersuchung nach der Konsolidierung. Der Anstieg der Trockenrohdichte war mit 0,04 g cm⁻³ entsprechend flach.

Die Trockenrohdichte erreichte auf dem Braunerde-Tschernosem 1,45 g cm⁻³, auf den Buntsandsteinböden Braunerde 1,60 g cm⁻³ und Pseudogley 1,68 g cm⁻³, in Weißensee 1,45 g cm⁻³.

Auf den periodisch gepflügten Flächen ist kein Trend bei der Entwicklung der Trockenrohdichte zu erkennen. Typisch sind starke Schwankungen, die dem Wechsel von Lockerung und Verdichtung folgen. Die Trockenrohdichte verbleibt in den Jahren ohne Bearbeitung unterhalb der Dichte vergleichbarer Böden mit ununterbrochener Pflugloswirtschaft. Auf den gepflügten Parzellen des Standortes Weißensee betrug sie zwischen 1,24 und 1,36 g cm^{-3} .

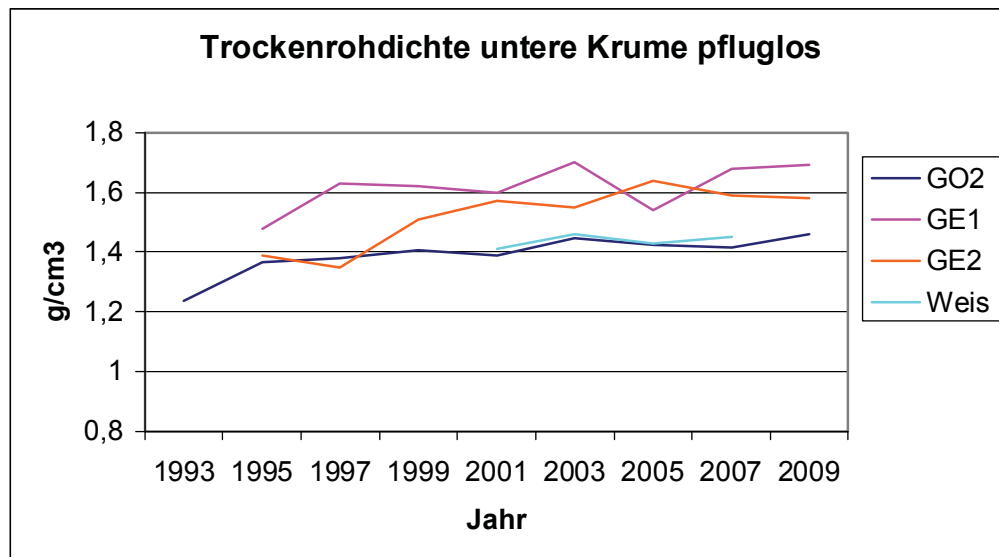


Abbildung 1: Entwicklung der Trockenrohdichte in der unteren Krume bei pflugloser Bodenbearbeitung

Die Bewertung der Trockenrohdichte nach ihrem Einfluss auf die Pflanzenentwicklung ist problematisch, weil im gefügebildenden Boden kein Zusammenhang zu ökologisch wichtigen und ertragsbildenden Bodenfunktionen besteht. PETELKAU und KUNZE (1979) haben dennoch fruchtartenspezifische Grenzwerte für die Trockenrohdichte auf der Grundlage gemahlenen und wiederverdichteten Bodenmaterials unterschiedlicher Bodenarten abgeleitet. Danach übersteigt die Trockenrohdichte aller pfluglos bearbeiteten Flächen in der unteren Krume die Grenzwerte selbst für dichtetoleranteres Wintergetreide.

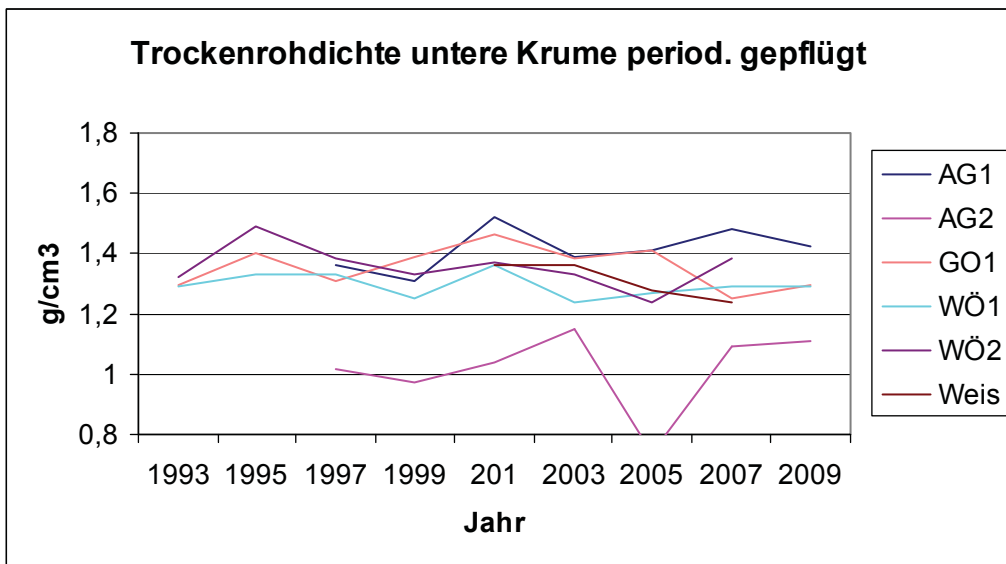


Abbildung 2: Entwicklung der Trockenrohdichte in der unteren Krume bei periodischem Pflügen

3.1.2 Luftkapazität

Die Entwicklung der Luftkapazität bestätigt, dass die Dichte auf Kosten des Grobporensystems angestiegen ist. Auf den pfluglos bearbeiteten Flächen ging der Grobporenanteil erheblich zurück (Abb. 3). Auf dem Braunerde-Tschernosem näherte er sich dem kritischen Luftvolumen, auf den Buntsandsteinstandorten und der Vega wurde es unterschritten.

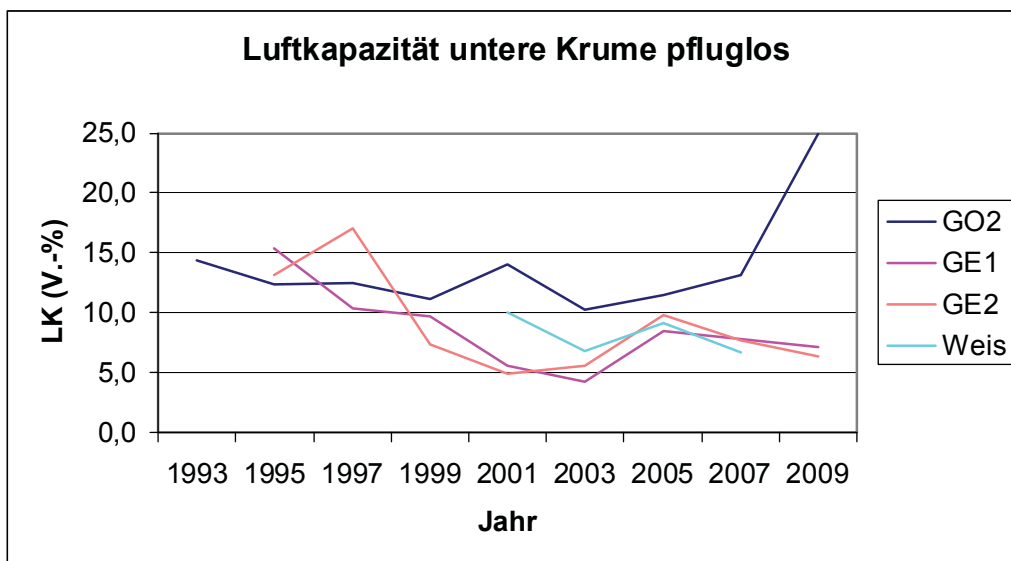


Abbildung 3: Entwicklung der Luftkapazität in der unteren Krume bei pflugloser Bodenbearbeitung

Der Braunerde-Tschernosem wurde im Jahre 2006 wieder gepflügt. Mit dem Pflugeinsatz stieg das Grobporenvolumen deutlich an. Die Messung 2009 weist ein besonders hohes Grobporenvolumen aus. Das Gefüge hat nach der Herbstfurche nur geringe Belastungen erfahren und zeigt den natürlichen Setzungszustand an.

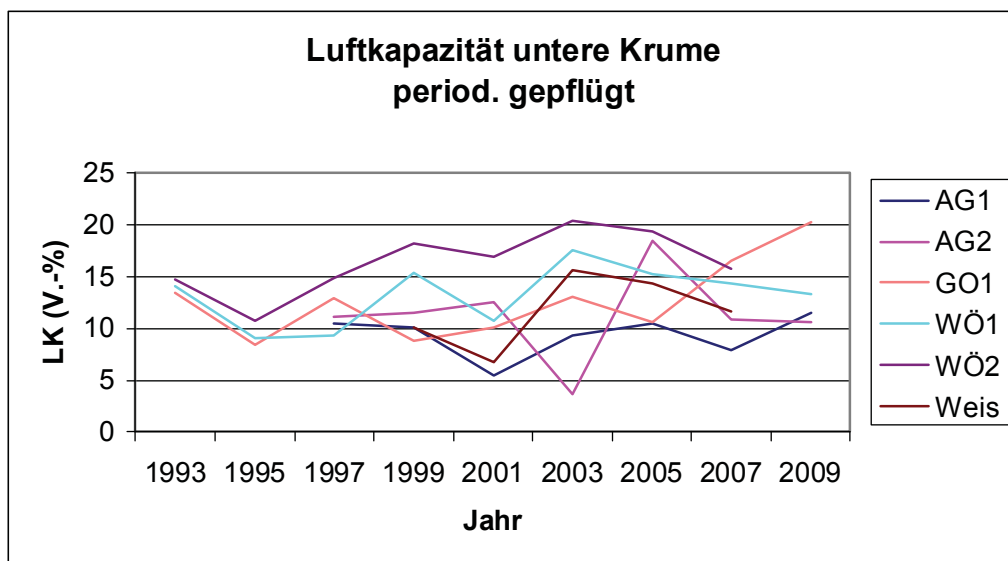


Abbildung 4: Entwicklung der Luftkapazität in der unteren Krume bei periodischem Pflügen

Auf den periodisch gepflügten Flächen (Abb. 4) wechselt die Luftkapazität stark und spiegelt den Wechsel zwischen Bearbeitungsverzicht und krumentiefer Lockerung wider. In den Pfluglosperioden sank sie mit Ausnahme der Auenböden (AG2, Weis) nicht unter 8 % des Bodenvolumens, überwiegend verblieb ein Grobporenvolumen > 8 % bis 14 %. Obwohl das Pflügen den Bodenverband der Krume zerstört und damit auch die Stabilität verändert, baut sich offensichtlich wieder ein stabiles Gefüge auf. Auf den Auenböden ist der stärkere Rückgang der Luftkapazität auf einen hohen Bodenwassergehalt und damit auf eine besonders hohe Druckempfindlichkeit zurückzuführen. Die Gefügezerstörung tritt dann sowohl bei pflugloser Bearbeitung (Knetung durch horizontale Spannungen beim Überfahren) als auch beim Pflügen (Beanspruchung beim Überfahren und zusätzlich knetende Kräfte vom Pflugschar und vom Furchenrad) ein.

3.1.3 Gesättigte Wasserleitfähigkeit (kf-Wert)

Die Entwicklung der Durchlässigkeit steht nicht im Zusammenhang zum Grobporenanteil. Die Ursache ist die Anlage von Bioporen, aber auch deren Zerknetung. Die Bioporen sind dank ihrer Kontinuität sehr durchlässig, da wenige Poren die Durchlässigkeit stark verbessern. Dafür sinkt sie ebenso stark mit der Zerknetung dieser Poren, die dabei diskontinuierlich werden.

Das Auftreten von Bioporen beeinflusst die Verteilung der Messwerte (kf-Werte). Es ist deshalb sinnvoller, die Ergebnisse von Durchlässigkeitsmessungen nicht nach dem Mittelwert, sondern nach ihrer Verteilung zu beurteilen.

Auf den Flächen mit pflugloser Bodenbearbeitung nimmt die Wasserdurchlässigkeit unter deutlichen Schwankungen ab. Sie erreicht die Mindestforderung für die Durchlässigkeit von $k_f = 10 \text{ cm d}^{-1}$ bzw. unterschreitet sie auf Böden mit instabilem Gefüge (Abb. 5). Die Verteilung ist zweigipflig. Ein Gipfel markiert den Bereich geringster Durchlässigkeit, der zweite einen Bereich mit extrem hoher Durchlässigkeit. Diese Verteilung ist typisch für verdichtete Schichten, sie zeigt, dass eine dichte, undurchlässige Matrix von einzelnen kontinuierlichen Röhren durchbrochen wird.

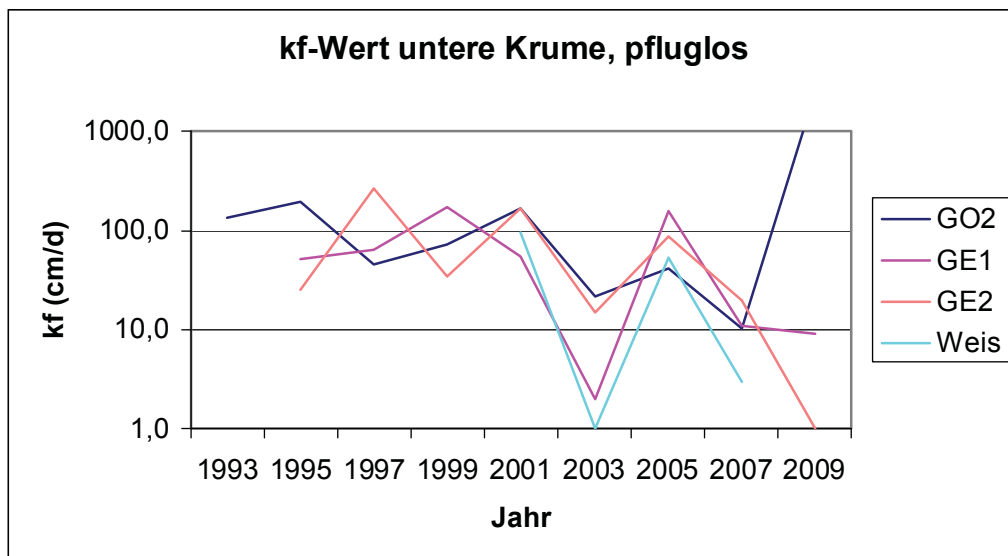


Abbildung 5: Entwicklung der Wasserdurchlässigkeit (kf-Wert im wasser-gesättigten Boden) bei pflugloser Bodenbearbeitung

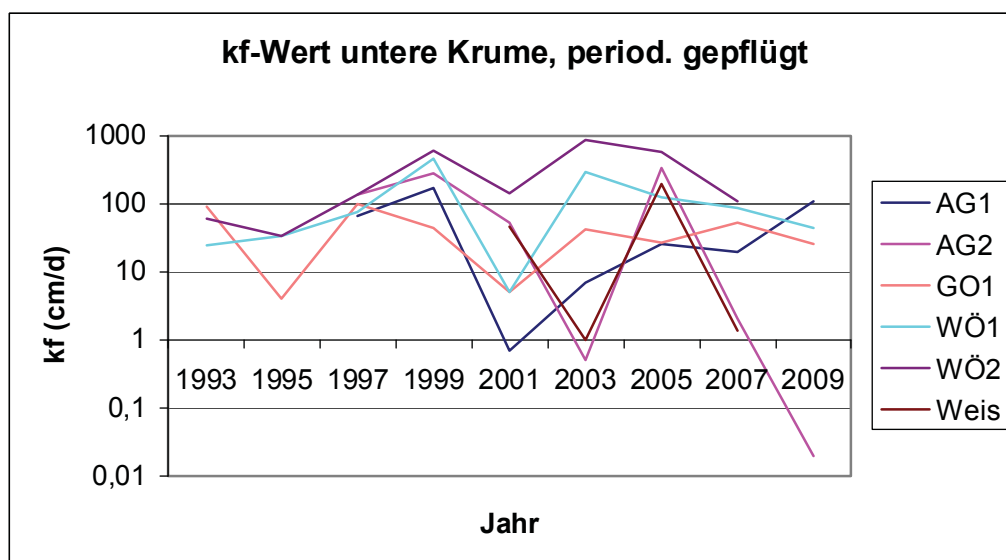


Abbildung 6: Entwicklung der Wasserdurchlässigkeit (kf-Wert im wasser-gesättigten Boden) bei periodischem Pflügen

Das Pflügen erzeugt in der Krume zunächst eine sehr hohe Durchlässigkeit (Abb. 6) mit normal verteilten Werten. In den pfluglosen Perioden verändert sich die Verteilung zu einer abgeflachten Glockenkurve mit der Mehrzahl der Werte nahe der mittleren Durchlässigkeit. Der Mittelwert ist entsprechend deutlich größer als 10 cm d^{-1} . Dieses Kurvenbild entsteht bei Matrix mit noch zahlreichen tortuosen Grobporen, die außerdem noch Bioporen besitzt.

Die Durchlässigkeit der Auenböden variiert besonders stark, in einzelnen Jahren sind sie undurchlässig. Das Kurvenbild zeigt eine Verschiebung in den Bereich niedrigster Werte. Die Undurchlässigkeit trat in Jahren mit hohem Grundwasserstand und dementsprechend hoher Knetungsempfindlichkeit auf.

3.1.4 Wasserrückhaltevermögen

Die Speicherfähigkeit für Wasser (Masseanteile) bei Feldkapazität (FK mit Einschluss der engen Grobporen) bleibt unverändert, solange die Verdichtung weite Grobporen komprimiert, und vermindert sich, wenn die engen Grobporen betroffen sind.

Auf dem pfluglos bearbeiteten Pseudogley aus Buntsandstein ist das eingetreten, folglich ist die Speicherleistung zurückgegangen. Auf den übrigen Flächen wie auch auf den periodisch gepflügten Flächen ist die Speicherfähigkeit für Wasser (Feldkapazität als auch der pflanzennutzbare Anteil daraus) unverändert geblieben (Abb. 7). Das gilt für den Masseanteil. Bezogen auf das Bodenvolumen ist jedoch ein Anstieg zu erkennen bzw. zeigt sich der Rückgang wesentlich schwächer. Ursache ist aber nicht die Bildung von Mittelporen, wie in einschlägiger Literatur dargestellt, sondern die Abnahme des Bodenvolumens als Folge des Verlustes von Grobporen. Dabei steigen die Volumenanteile an Bodenfestsubstanz und Bodenwasser an, ohne dass Festmaterial zugeführt und Speicherraum für Bodenwasser erweitert wird. Würden Mittelporen entstehen, müsste der Masseanteil bei entsprechender Bindungskraft (pF 2,5) ansteigen. Er ist aber in allen untersuchten Böden in allen Bodenbearbeitungsvarianten unverändert geblieben (Abb. 8 und 9). Auch in den tieferen Schichten veränderte sich der wasserspeichernde Porenraum nicht.

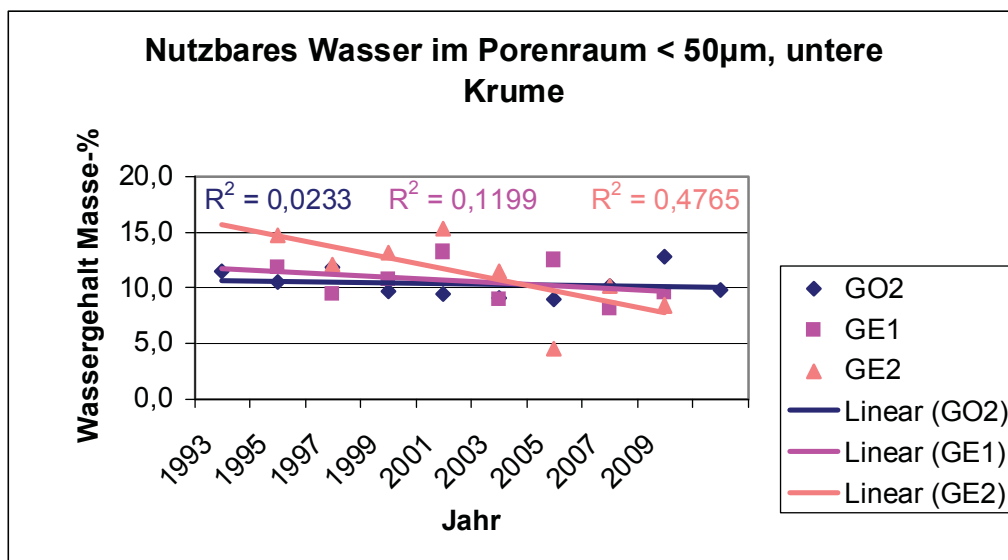


Abbildung 7: Pflanzennutzbare Bodenwasser in der unteren Krume der pfluglos bearbeiteten Böden in Masse-%

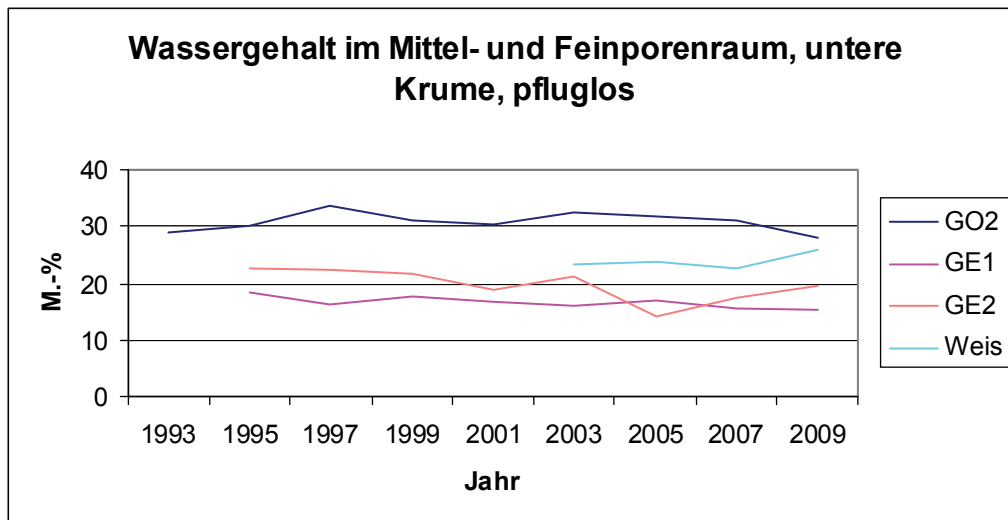


Abbildung 8: Entwicklung des Mittel- und Feinporenraumes bei pflugloser Bodenbearbeitung

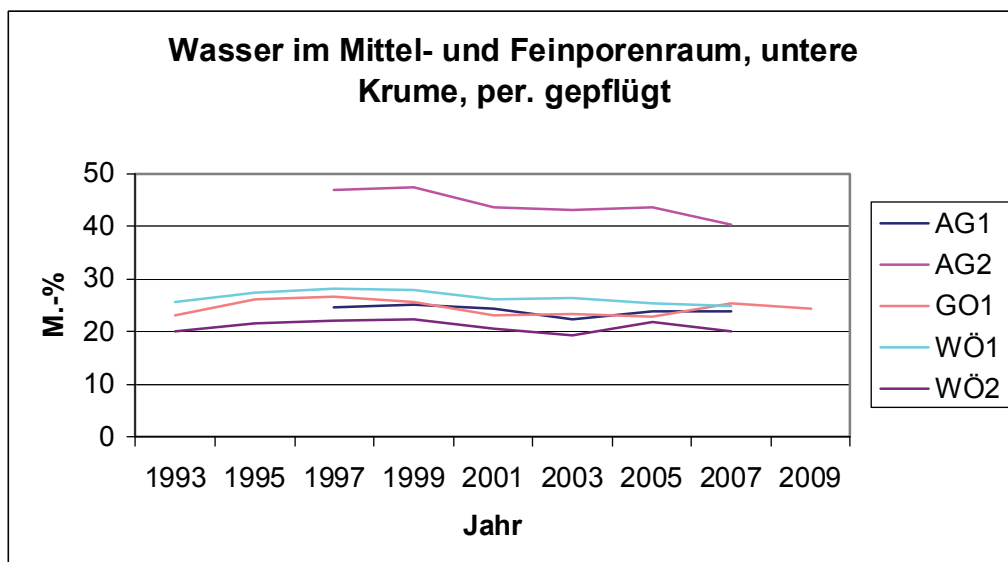


Abbildung 9: Entwicklung des Mittel- und Feinporenraumes bei periodischem Pflugeinsatz

3.1.5 Aggregatporosität

Die Aggregatporosität kann sich bei Gefügeumbildungen verändern. Abnehmendes Aggregatporenvolumen bzw. zunehmende Aggregatdichte weisen auf einen intensiven Verdichtungsprozess hin. Verdichtete Aggregate sind mit üblicher mechanischer Bodenbearbeitung nicht zu verändern, dazu sind natürliche Kräfte und entsprechend längere Einwirkungszeiten notwendig.

Auf den pfluglos bearbeiteten Flächen mit bindigerem Substrat bilden sich aus dem ursprünglich vorhandenen Gemisch aus Krümel und Bröckeln in der unteren Krume dichte Polyeder. Eine gesicherte Abnahme des Aggregatporenvolumens von 34,7 % auf 30,8 % ist auf dem Braunerde-Tschernosem GO2 eingetreten.

Diese Polyeder werden nicht durchwurzelt, die Wurzeln wachsen, günstige Bedingungen vorausgesetzt, an den Kluftflächen zwischen den Aggregaten entlang und

dringen nicht in diese ein.

Auf den gepflügten Standorten erfolgte auf der Vega Weißensee eine Zunahme des Aggregatporenvolumens von 32,7 % auf 37,2 %, auf den anderen Standorten mit Pflugeinsatz blieben die Aggregate unverändert.

3.2 Entwicklung des Gefüges der Krumenbasis

3.2.1 Trockenrohdichte

Die Krumenbasis war zu Beobachtungsbeginn auf allen Flächen verdichtet, jedoch nicht schadverdichtet. Im Beobachtungszeitraum hat sie sich nicht signifikant verändert. Geringfügig stieg die Trockenrohdichte auf den pfluglos bearbeiteten Bunt-sandsteinstandorten an (Abb. 10), während sie mit geringer Sicherheit auf den gepflügten Standorten in dieser Schicht abnahm (Abb. 11).

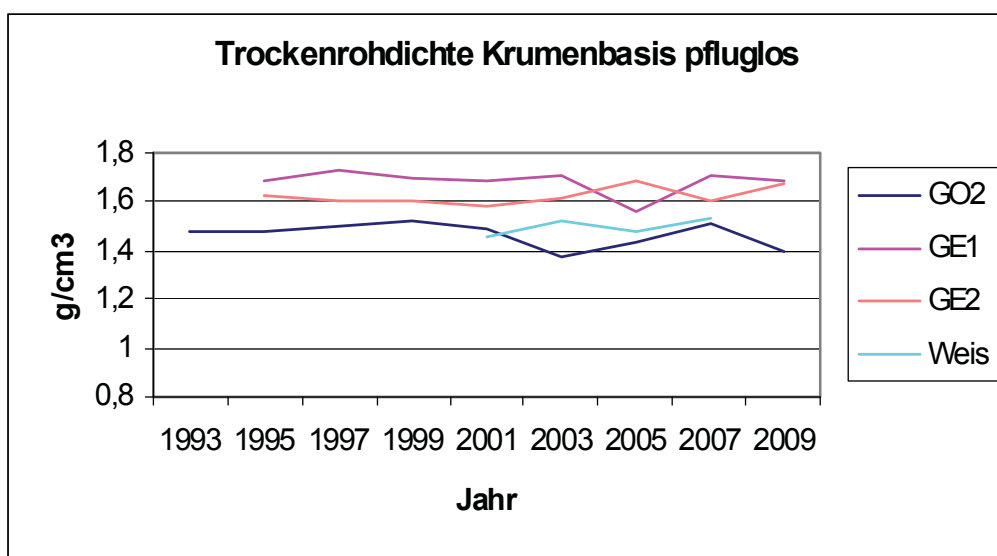


Abbildung 10: Entwicklung der Trockenrohdichte an der Krumenbasis bei pflugloser Bodenbearbeitung

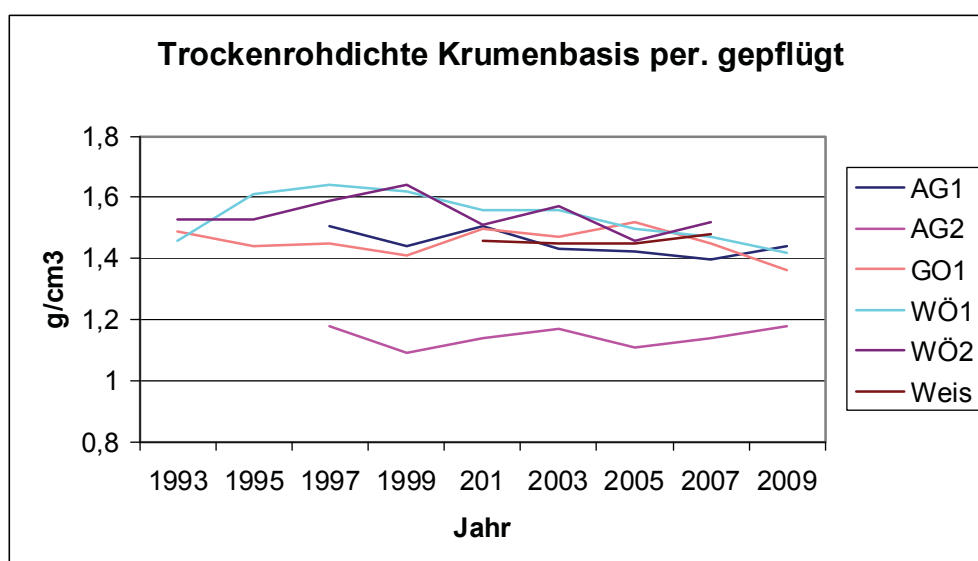


Abbildung 11: Entwicklung der Trockenrohdichte an der Krumenbasis bei periodischem Pflügen

3.2.2 Luftkapazität

Die Luftkapazität nahm auf den pfluglos bearbeiteten Buntsandsteinstandorten deutlich ab, auf der Braunerde (GE1) ist dieser Effekt signifikant. Diese Entwicklung wurde im Jahre 2005 unterbrochen. Wurzelröhren des in diesem Jahr angebauten Rapses erhöhten den Grobporenanteil auch in dieser Schicht. Diese Grobporen blieben aber nicht erhalten, die Luftkapazität nahm als Folge der auch in dieser Bodentiefe noch wirksamen Scherkräfte rasch wieder ab (Abb. 12). Auf den gepflügten Standorten zeigten die Standorte mit Ausnahme der Auenböden Altengottern (Gley) und Weißensee (Vega) eine Zunahme der Luftkapazität, auf den Standorten AG1 und WÖ2 war diese signifikant (Abb. 13).

Die ungünstige Situation auf den Auenböden beruht auf deren häufigeren Vernässung. Bei hohem Bodenwassergehalt wirken komprimierende und schernde Kräfte (siehe Durchlässigkeit) in größere Tiefen.

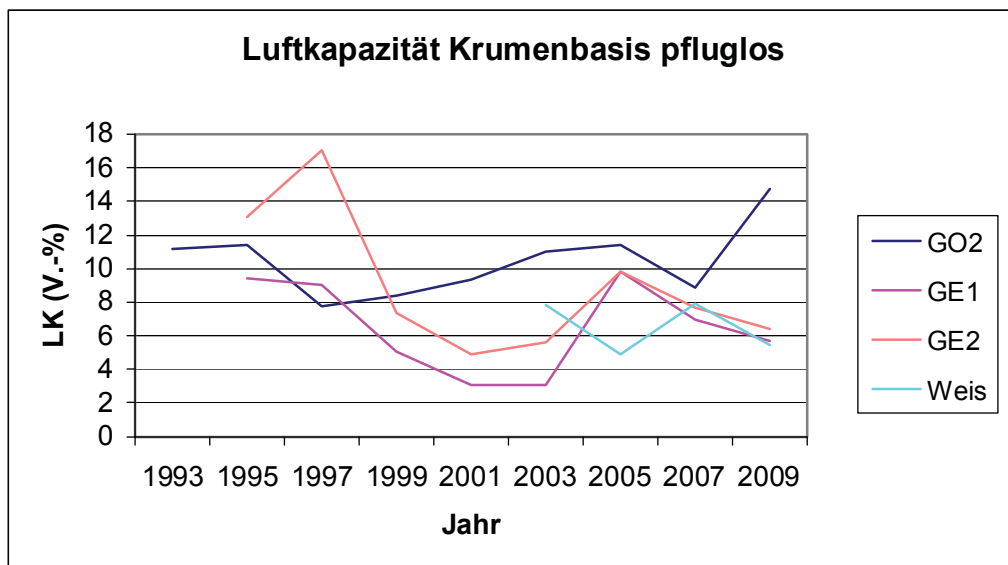


Abbildung 12: Entwicklung der Luftkapazität bei pflugloser Bodenbearbeitung

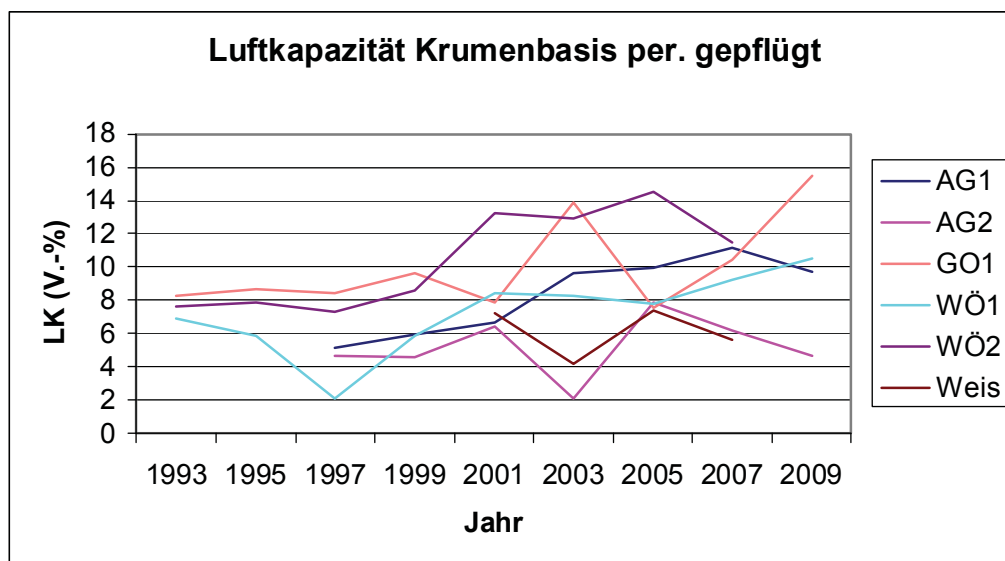


Abbildung 13: Entwicklung der Luftkapazität bei periodischem Pflügen

3.2.3 Gesättigte Wasserdurchlässigkeit (kf-Wert)

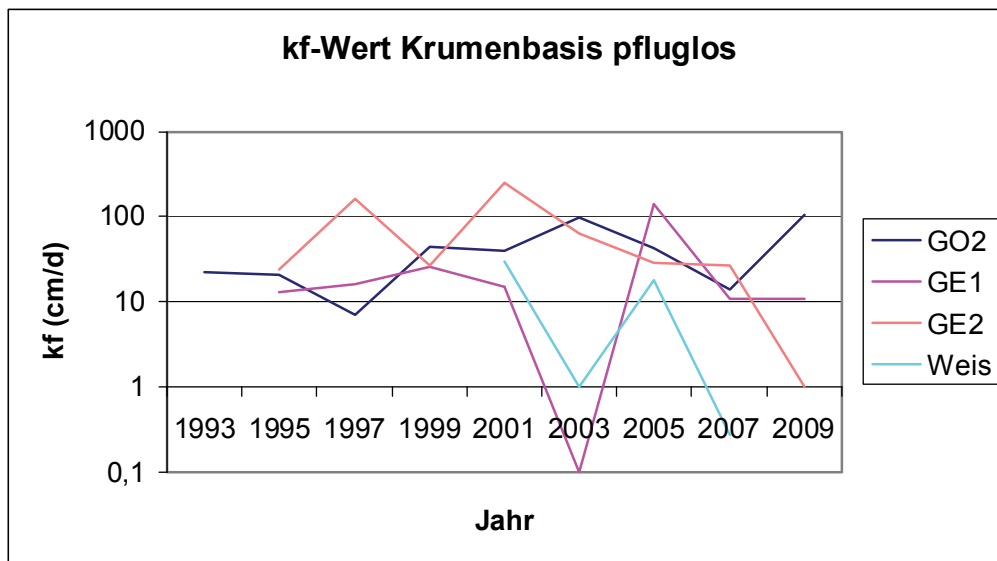


Abbildung 14: Entwicklung der Wasserdurchlässigkeit (kf-Wert im wasser-gesättigten Boden) bei pflugloser Bodenbearbeitung

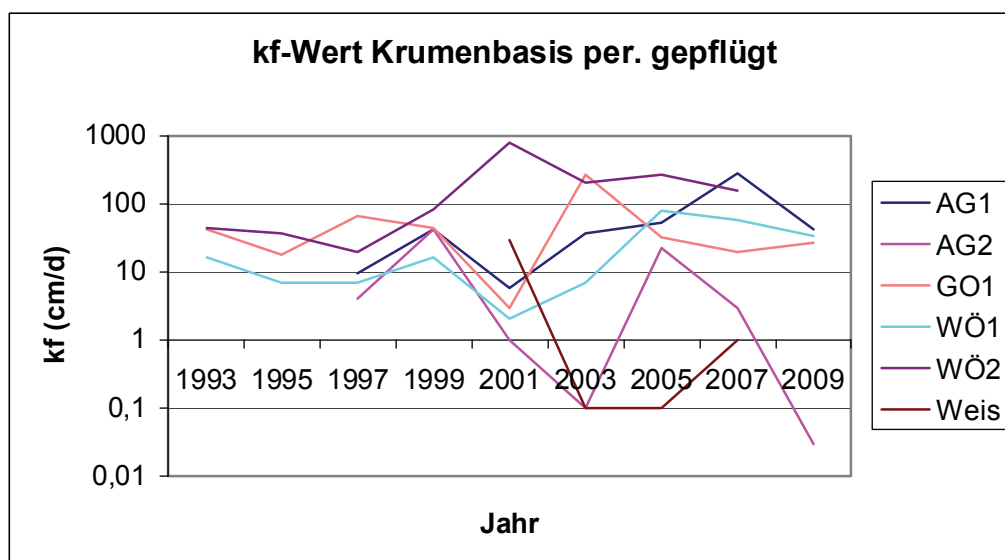


Abbildung 15: Entwicklung der Wasserdurchlässigkeit (kf-Wert im wasser-gesättigten Boden) bei periodischem Pflügen

Der Verlauf der Durchlässigkeit zeigt starke Schwankungen. Diese sind auf den pfluglos bearbeiteten Flächen auf den Wechsel zwischen der Anlage von Bioporen (starke Zunahme der Durchlässigkeit) und deren Zerstörung durch Scherkräfte und davon ausgelöste Knetungen (starke Abnahme der Durchlässigkeit) zurückzuführen. In der Tendenz hat sich die Durchlässigkeit auf den pfluglos bearbeiteten Buntsandsteinflächen und dem Auenstandort verringert und sogar sehr niedrige Werte erreicht. Auf dem stabilen Braunerde-Tschernosem ist sie dagegen eher angestiegen (Abb. 14).

Die periodisch gepflügten Flächen sind mit Ausnahme der Auenböden und des

Pseudogley immer ausreichend durchlässig geblieben (Abb. 15). Offensichtlich zahlreiche Bioporen sind angelegt worden und dank weniger intensiver Knetbeanspruchungen erhalten geblieben. Die gegenüber den pfluglos bearbeiteten Flächen geringere Kompressions- und Scherwirkung kann auf der mit dem Pflügen vergrößerten Mächtigkeit der Krumenschicht beruhen. Diese baut einen größeren Anteil der Spannungen ab als die zusammengepresste pfluglos bearbeitete Krume.

3.3 Entwicklung des Gefüges im krumennahen Unterboden

3.3.1 Trockenrohdichte

Die Trockenrohdichte veränderte sich im Unterboden kaum. Ein schwacher Rückgang besteht auf dem Braunerde-Tschernosem (Abb. 16). Da in dieser Schicht zahlreiche Bioporen festgestellt wurden, kann die Ursache eine Zunahme solcher Poren sein.

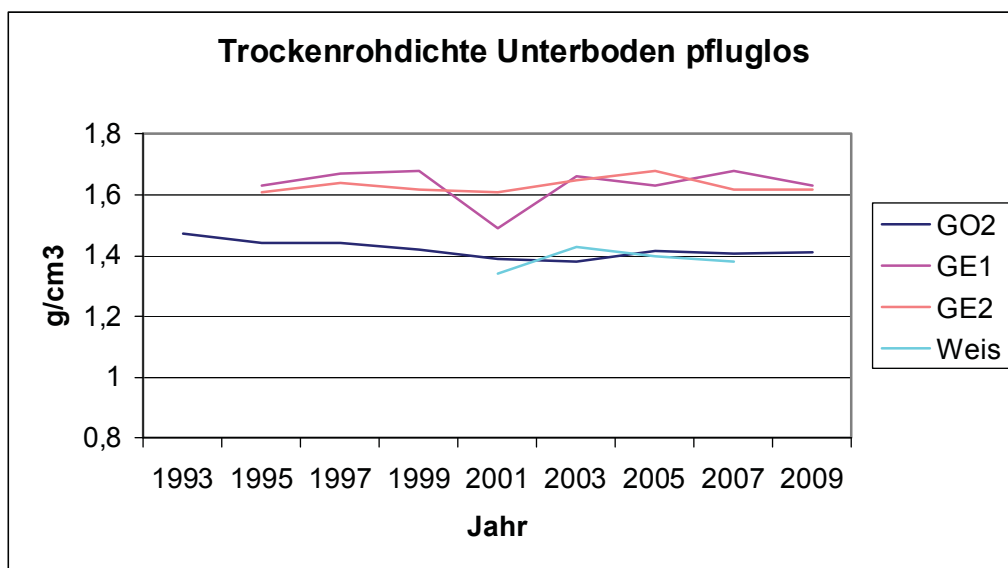


Abbildung 16: Entwicklung der Trockenrohdichte bei pflugloser Bodenbearbeitung

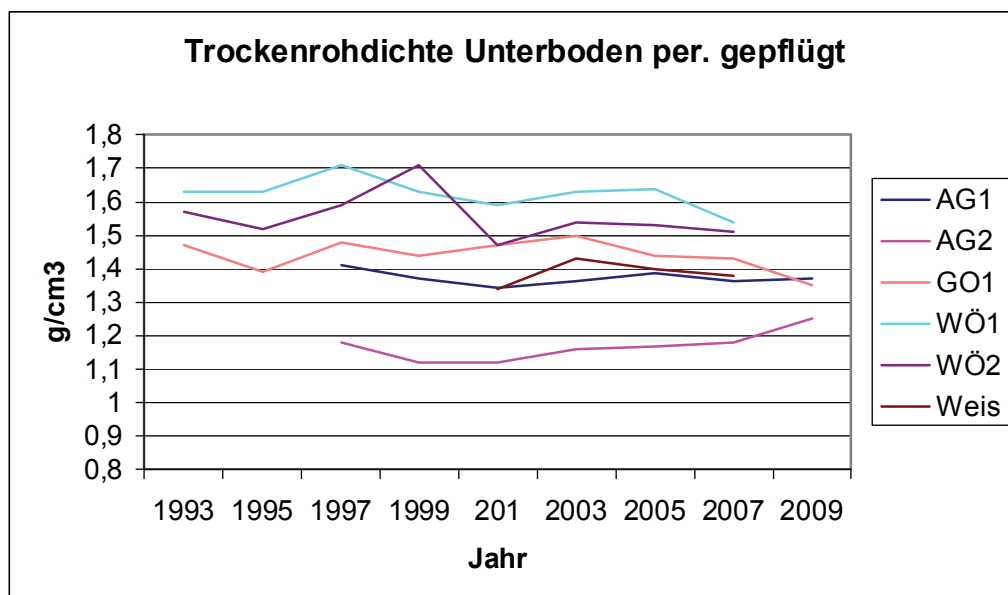


Abbildung 17: Entwicklung der Trockenrohdichte bei periodischem Pflügen

Auf den gepflügten Flächen veränderte sich die Dichte in dieser Tiefe ebenfalls nicht (Abb. 17). Unterschiede der Trockenrohdichte zwischen den Böden sind bodenentwicklungsbedingt (hohe Dichte im Sd-Horizont der Pseudogleyböden).

3.3.2 Luftkapazität

Unterschiede der Luftkapazität sind in dieser Bodentiefe vorrangig von der Bodenentwicklung verursacht und bestehen deshalb zwischen den Bodentypen und Bodenarten. Die Auenböden, die Pseudogleystandorte und die Böden mit hohem Tongehalt enthalten nur geringe Grobporenanteile.

Im Beobachtungszeitraum kamen Schwankungen vor, weil Bodentiere und Wurzeln Bioporen schufen (Abb. 18 und 19). So zeigte sich immer wieder eine Zunahme nach dem Anbau von Raps. Trends sind aber nicht zu sichern.

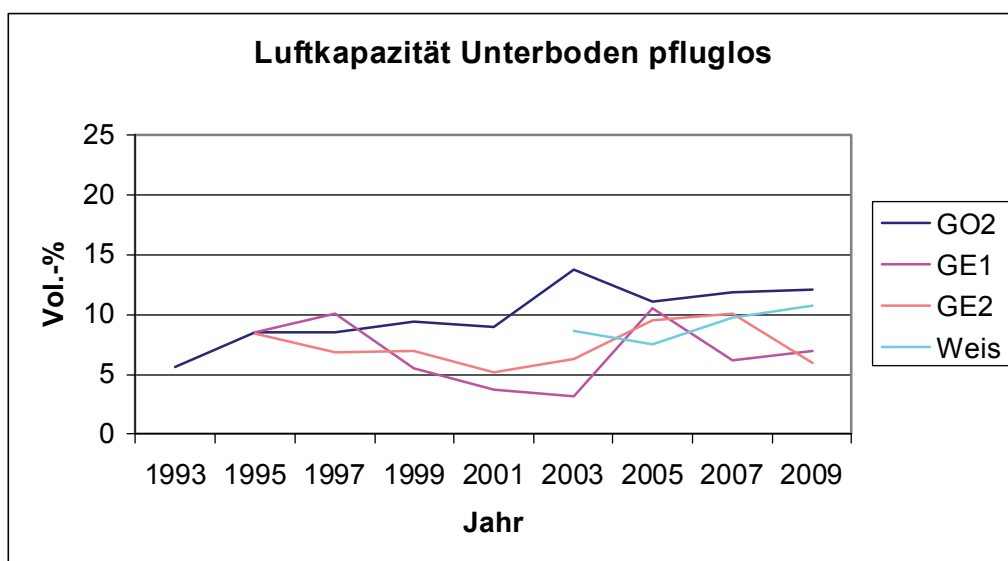


Abbildung 18: Entwicklung der Luftkapazität im Unterboden bei pflugloser Bodenbearbeitung

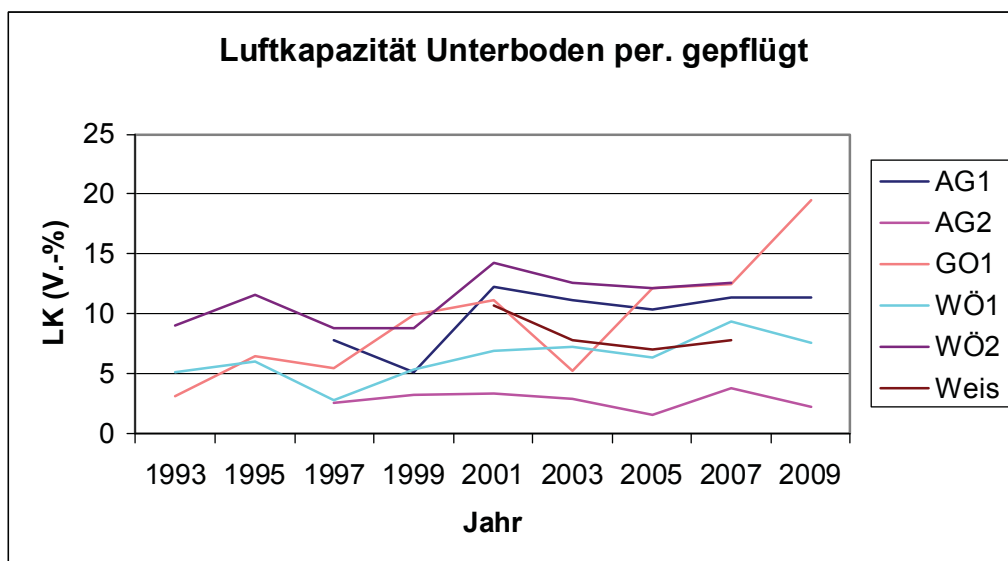


Abbildung 19: Entwicklung der Luftkapazität im Unterboden bei periodischem Pflügen

3.3.3 Gesättigte Wasserleitfähigkeit (kf-Wert)

Für die Durchlässigkeit trifft der überragende Einfluss der Bodenentwicklung und der Bodenart ebenfalls zu. In den Pseudogley- und in den tonreichen Böden ist diese Schicht meist gering durchlässig bis undurchlässig. Böden mit günstigem Gefüge (Schwamm, Prismen, Feinpolyeder) sind durchlässiger, häufig nimmt die Durchlässigkeit gegenüber der Krumbasis zu.

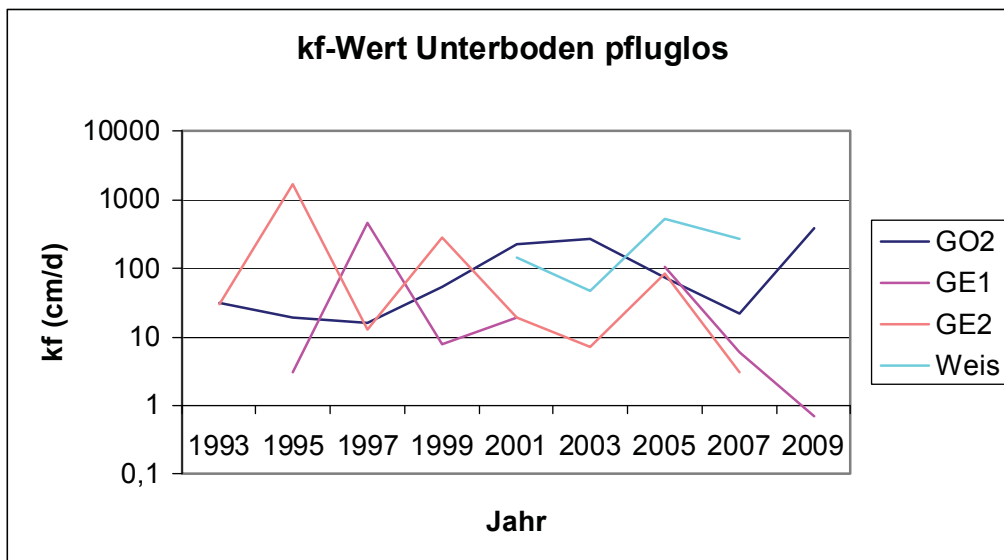


Abbildung 20: Entwicklung der Wasserdurchlässigkeit (kf-Wert im wassergesättigten Boden) im Unterboden bei pflugloser Bodenbearbeitung

Auf instabilen Böden nahm die Durchlässigkeit ab, so auf den pfluglos bearbeiteten Buntsandsteinstandorten (Abb. 20). Auf den periodisch gepflügten Standorten betrifft das den Gley (Abb. 21).

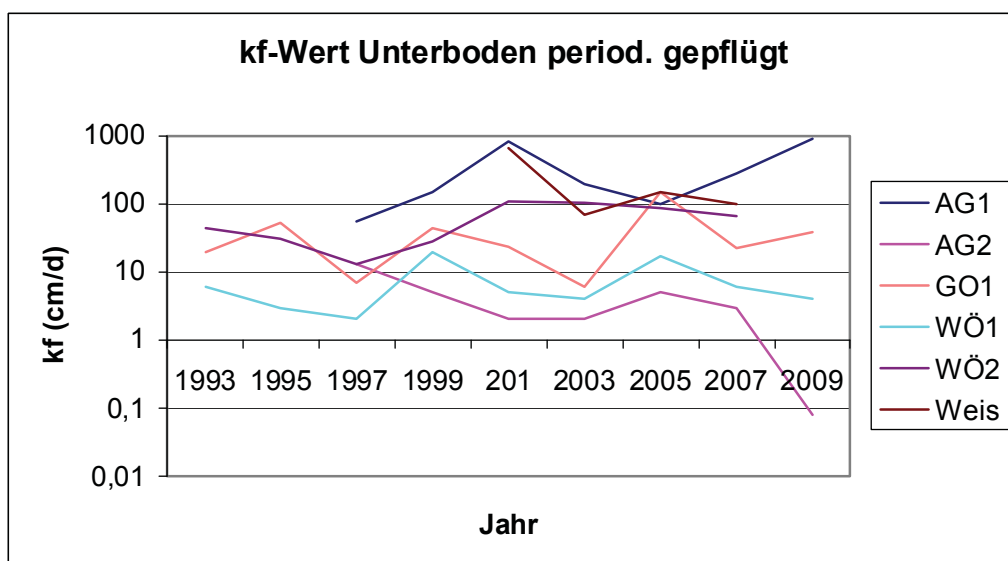


Abbildung 21: Entwicklung der Wasserdurchlässigkeit (kf-Wert im wassergesättigten Boden) im Unterboden bei periodischem Pflügen

4 Erste Ergebnisse des Versuches Buttelstedt

Im Jahre 2008 wurde nach der Ernte der Vorfrucht Raps eine flächenhafte Beprobung zur Feststellung der Homogenität der Fläche durchgeführt. Es wurde Einheitlichkeit der Bodenform festgestellt, jedoch ist der A-Horizont unterschiedlich mächtig. Ebenfalls wechselt das Substrat des C-Horizontes.

Anschließend wurden die Varianten angelegt, zwei Varianten mit Pflugeinsatz und zwei Pfluglosvarianten. Die Pflugvarianten wurden 25 cm tief gepflügt, auf den Pfluglosvarianten wurde die seit drei Jahren durchgeführte pfluglose Bearbeitung fortgesetzt.

Auf den Varianten erfolgten Untersuchungen des Nährstoffgehaltes, des Gefüges und der Bodenbiologie (Mikrobiologie, Regenwurmbesatz, Feldmausbesatz, Bodenfeuchteverlauf). Die Gefügeuntersuchung erfolgte vor der Bodenbearbeitung sowie im folgenden Frühjahr.

Die Nährstoffgehalte unterschieden sich zwischen den Varianten nicht, die biologischen gering. So wurde ein etwas höherer Regenwurmbesatz auf den Pfluglosflächen gefunden, wobei der Besatz insgesamt sehr niedrig war. Ebenso wurden auf den Pfluglosflächen mehr Feldmäuse bei ebenfalls insgesamt geringem Besatz gezählt.

Bei der Gefügeuntersuchung vor der Lockerung wurde eine starke Verdichtung der gesamten Krume festgestellt. Im Frühjahr war die untere Krume der Pflugvarianten deutlich lockerer als die der Pfluglosvarianten. Sie enthielten mehr Grobporen und waren durchlässiger. Unterhalb 25 cm Tiefe waren die Unterschiede gering. In der Tendenz enthielten auch dort die Pflugvarianten mehr Grobporen.

Der Bodenwassergehalt wurde an sieben Terminen untersucht. Abgesehen von der obersten Schicht bis 15 cm Tiefe gab es keine Unterschiede. Die Schicht 15 ... 30 cm trocknete von 25 auf 17 Masse-% mit nahezu linearem Verlauf ab, darunter gab es nur eine geringe Abnahme ab Mitte Mai von 20 auf 18 Masse-%.

Eine Bevorzugung der Pfluglosvarianten hinsichtlich Aufnahme und Speicherung von Bodenwasser war nicht eingetreten.

5 Schlussfolgerung

Die Auswirkungen der unterschiedlichen Bodenbearbeitungsverfahren auf das Gefüge zeigen sich deutlich in der Krume, während sich die tieferen Schichten nicht signifikant verändert haben.

Auf den pfluglos flach gelockerten Flächen nahm die Dichte der Krume etwa vier Jahre lang deutlich zu, dann stellte sich ein Gleichgewicht zum verursachenden Bodendruck ein. Es traten keine signifikanten Dichtezunahmen mehr ein. Die dann noch beobachteten deutlich schwächeren Dichteänderungen sind auf Restschrumpungen und die Anlage sowie den Verlust von Bioporen zurückzuführen.

Die Dichtezunahme erfolgte durch Gefügeumbildung auf Kosten des Grobporenvolumens und dessen Durchlässigkeit. Auf den Böden mit geringer Druckbelastbarkeit bildete sich zunächst ein plattiges und daraus ein grobpolyedrisches Gefüge.

Die Veränderungen wirken sich auf die Gefügefunktionen, vor allem auf den Makrostofftransport aus. Für die Bewertung des Gefüges ist aber nicht die Veränderung entscheidend, denn Gefügeveränderungen sind bei landwirtschaftlicher Bodennutzung und vor allem bei Verzicht auf Lockerung nicht zu vermeiden. Entscheidend sind die verbleibenden Gefügeeigenschaften. Diese waren in der unteren Krume der pfluglos bearbeiteten Flächen nur auf gefügestabilen Böden noch ausreichend ($LK > 8 \text{ Vol.-%}$ und $k_f > 10 \text{ cmd}^{-1}$), auf den instabilen Böden wurden diese Werte unterschritten.

Der einmal erreichte Schadzustand blieb im Beobachtungszeitraum erhalten.

Die Krume der periodisch gepflügten Standorte wurde in den Jahren ohne Pflugeinsatz auch verdichtet, erhielt sich aber mit Ausnahme der Auenböden ein ausreichendes Grobporensystem. Die tieferen Schichten wurden mit Bioporen durchsetzt, welche die Durchlässigkeit verbesserten.

Der rechtzeitige Pflugeinsatz vor einer Schadverdichtung (Konsolidierungszustand mit erheblichem Funktionsrückgang) wirkt damit erhaltend bzw. regenerierend auf die Gefügefunktionen und ist gefügeverbessernd.

Die wendende Pflugarbeit bringt auch verdichtete Aggregate der unteren Krume an die Oberfläche, wo sie den natürlichen Kräften unmittelbar ausgesetzt sind. Das trifft vor allem für den Frost zu, der dem Klimawandel folgend nur noch flach in den Boden eindringt.

Bodenschäden durch Pflügen sind jedoch ebenfalls möglich, wenn bei hoher Bodenfeuchte (weichplastische bis steifplastische Konsistenz) gearbeitet wird. Das Schar und besonders das in der Furche fahrende Rad wird die Krumbasis zerkneten und auch tiefere Schichten beeinträchtigen.

Der Erhalt der Gefügefunktionen und erst recht die Verhinderung der Umbildung zu ungünstigen und kaum rückzubildenden Gefügeformen erfordert deshalb, den Bodendruck an der Bodenstabilität zu orientieren, die den Erhalt dieser Funktionen sichert.

Der Beratungsansatz der TLL berücksichtigt mit der Druckbelastbarkeit diese Gefügestabilität.

Gefügeschutz wird somit vorrangig mit der Begrenzung des Bodendruckes auf eine von der Druckbelastbarkeit des Standortes bestimmte Höhe und der Ausklammerung zu feuchter Bodenzustände (steifplastische und weichere Konsistenz) erreicht. Dem ist die Wahl des Bodenbearbeitungsverfahrens nachgeordnet.